

Enkapsulasi Fiber Bragg Grating (FBG) dengan Keramik Geopolimer Untuk Perancangan Sensor Temperatur Tinggi

Haerul Ahmadi
1113201046

Pembimbing
Dr. Melania Suweni Muntini, MT.

Bidang Keahlian Instrumentasi
Program Pasca Sarjana Jurusan Fisika
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

2015





Latar belakang

POF (*Polymer Optical Fiber*).
Manuel Lopes, et al (2005)
Sham-Tsong Shiue et al (2006)
Alberto et al (2013)

1. Tidak Tahan pada temp. lebih dari 70 °C
2. Repeatability rendah
3. Basisnya rugi daya

Sensor
Temperatur

Fiber Bragg Grating (FBG)
Reddy et al (2008 & 2012)
Yage Zhan (2008)
Brambilla et al (2010)

Metode
enkapsulasi
dengan Keramik
Geopolimer

High
Temperature
Sensor



B

Rumusan Masalah

1. Bagaimana Merancang dan membuat sistem pengukuran temperatur tinggi menggunakan sensor *Fiber Bragg Grating* (FBG)
2. Bagaimana menganalisa sistem pengukuran untuk mendapatkan karakterisasi sistem sensor yang dibuat





Tujuan penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian

1. Merancang dan membuat sistem pengukuran temperatur tinggi menggunakan sensor FBG.
2. Mengetahui karakteristik FBG serta prinsip kerja OSA dalam menganalisa pergeseran panjang gelombang Bragg serat optik.
3. Melakukan analisa karakterisasi sistem sensor yang telah dirancang.



D

Batasan Masalah penelitian

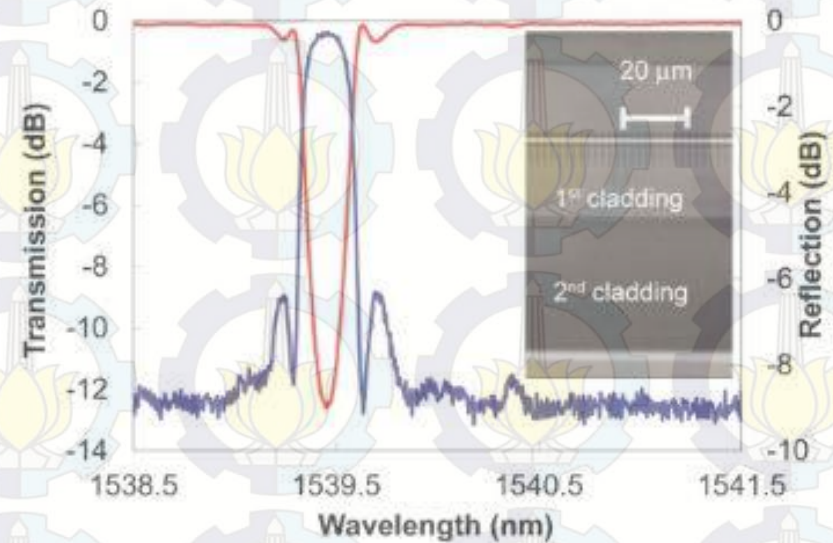
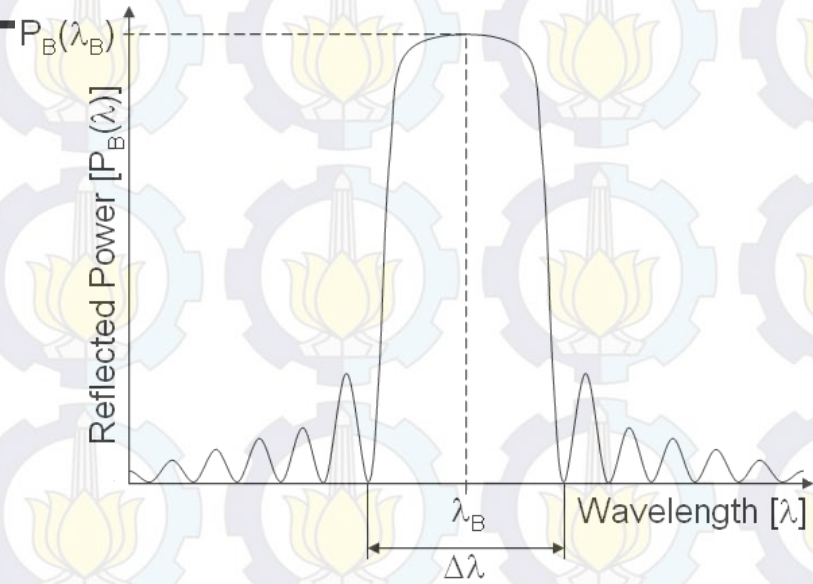
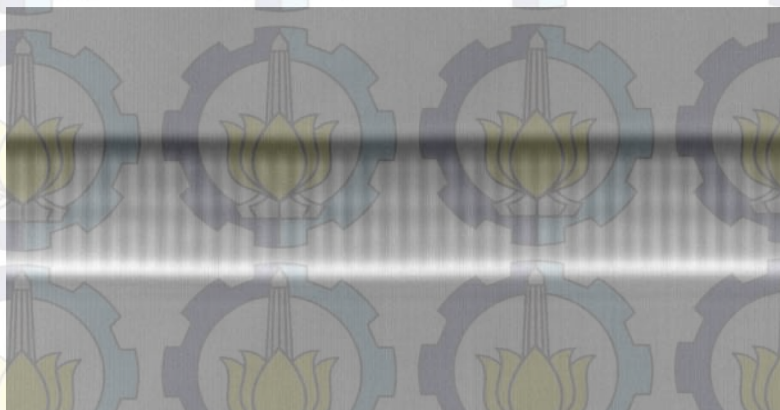
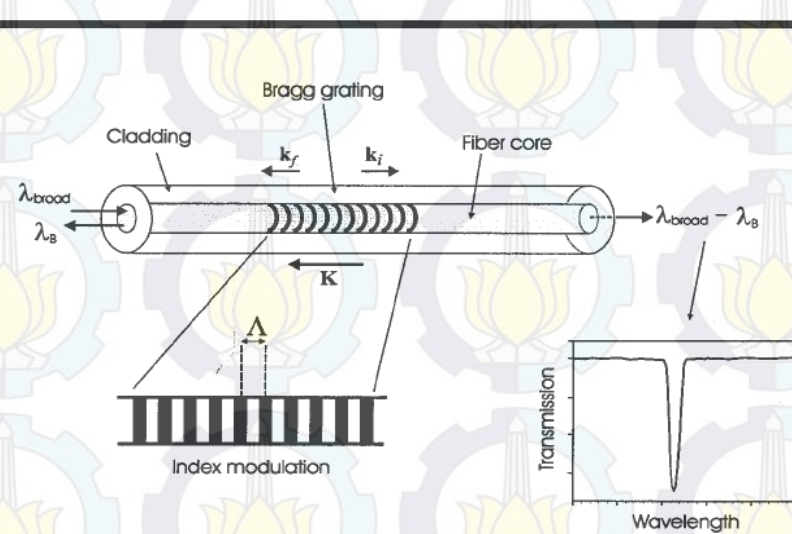
Batasan Masalah Dalam Penelitian

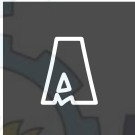
1. Fiber optik yang digunakan merupakan Fiber Optik Single Mode type FBG dengan panjang gelombang $\lambda_B=1550$ nm dari bahan polymide
2. Head sensor yang dirancang dari bahan keramik geopolimer dari bahan dasar *metakaolin*
3. Variasi pengukuran dilakukan temperatur maksimum 250 °C
4. Variabel yang akan diteliti hanya tentang pengaruh temperatur terhadap pergeseran panjang gelombang.





Fiber Bragg Grating





Fiber Bragg Grating

Indeks bias efektif akan terpengaruh oleh perubahan strain dan temperatur. Dengan menggunakan persamaan diatas maka perubahan panjang gelombang akibat strain dan temperatur dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\Delta\lambda_B = 2 \left[\Lambda \frac{\partial n_{eff}}{\partial l} + n_{eff} \frac{\partial \Lambda}{\partial l} \right] \Delta l + 2 \left[\Lambda \frac{\partial n_{eff}}{\partial T} + n_{eff} \frac{\partial \Lambda}{\partial T} \right] \Delta T$$

Perubahan panjang gelombang akibat perubahan temperatur dapat dituliskan sebagai

$$\Delta\lambda_B = \lambda_B (\alpha_\Lambda + \alpha_n) \Delta T$$

Dimana $\alpha_\Lambda = \frac{1}{\Lambda} \left(\frac{\partial \Lambda}{\partial T} \right)$ adalah koefisien ekspansi thermal (CTE) dari fiber



B

Prosedur Penelitian

Enkapsulasi Fiber Bragg Grating (FBG) dengan Keramik Geopolimer Untuk Perancangan Sensor Temperatur Tinggi

Pengujian Karakteristik FBG terhadap Temperature

Perancangan Probe Sensor FBG

Pengujian Mikrostruktur dan Koefisien ekspansi Thermal Geopolimer

Karakteristik Sistem Sensor (Integrasi FBG + Probe Sensor)

Perbandingan ekspansi thermal *ceramic tube*



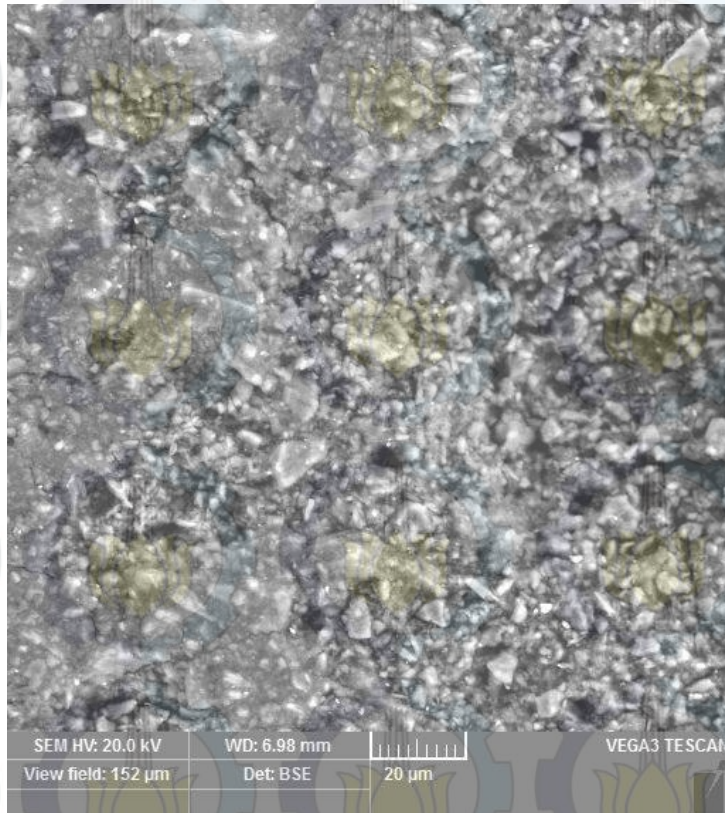
METODA PENELITIAN

Fiber Bragg Grating (FBG)

FBG length	10 mm
Centre Wavelength	1550 +/- 0.5 nm
Reflectivity	>80 %
Fiber type	SMF28-C polyimide fiber
recoating type	Polyimide
Connector	FC/PC



Pengujian Mikrostruktur Keramik Geopolimer Berbahan Dasar Metakaolin



Spectrum: test

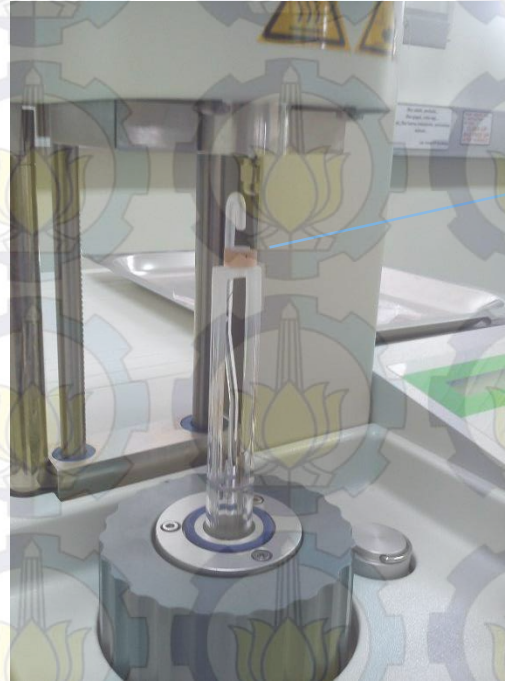
Element	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Compound norm. [wt.%]	Comp. C Error (3 Sigma) [wt.%]
Oxygen	39.77	46.41	59.57		15.85
Silicon	17.96	20.96	15.32	SiO2	2.45
Aluminium	17.23	20.11	15.31	Al2O3	2.62
Sodium	8.19	9.56	8.54	Na2O	1.78
Titanium	0.20	0.23	0.10	TiO2	0.14
Iron	1.70	1.99	0.73	FeO	0.35
Potassium	0.33	0.39	0.21	K2O	0.15
Sulfur	0.29	0.34	0.22	SO3	0.15
Total:	85.68	100.00	100.00		



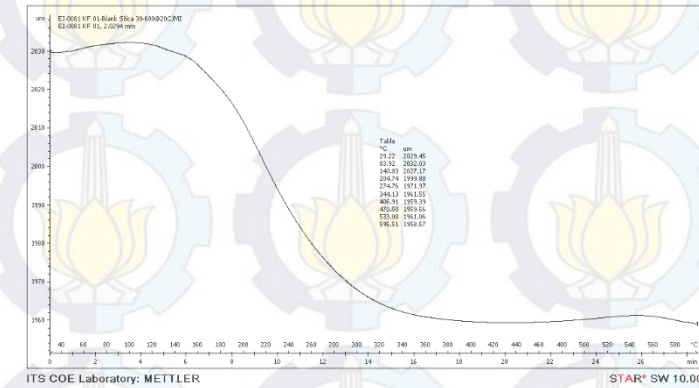
Pengukuran Koefisien Muai Thermal Keramik Geopolimer



Mettler
Thermomechanical
Analyser
(TMA840)-1
Lab. Energi ITS



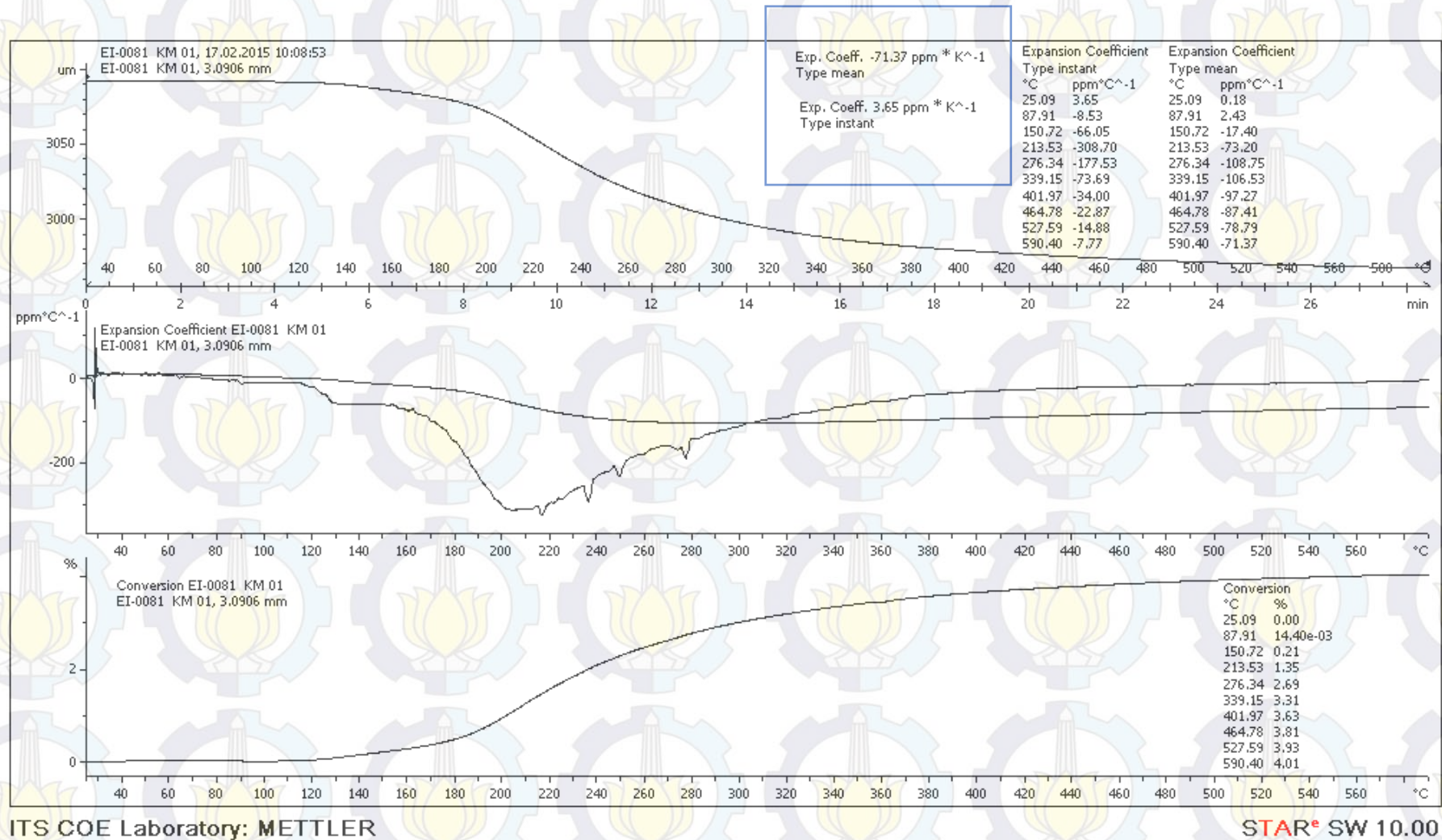
Keramik
Geopolimer
(metakaolin
dan Fly ash)



Hasil Pengukuran



Keramik Geoplimer berbahan dasar Metakaolin



Probe Sensor Temperatur Tinggi berbasis FBG



Ceramic Tube berbahan geopolimer
(Fly Ash dan Metakaolin)



Probe Sensor berbahan Ceramic
Mullite Al_2O_3 (69 %) dan SiO_2 (29 %)



Hasil Perancangan Sistem Sensor

Sistem Sensor adalah Integrasi Antara FBG dengan Probe Sensor dari Keramik



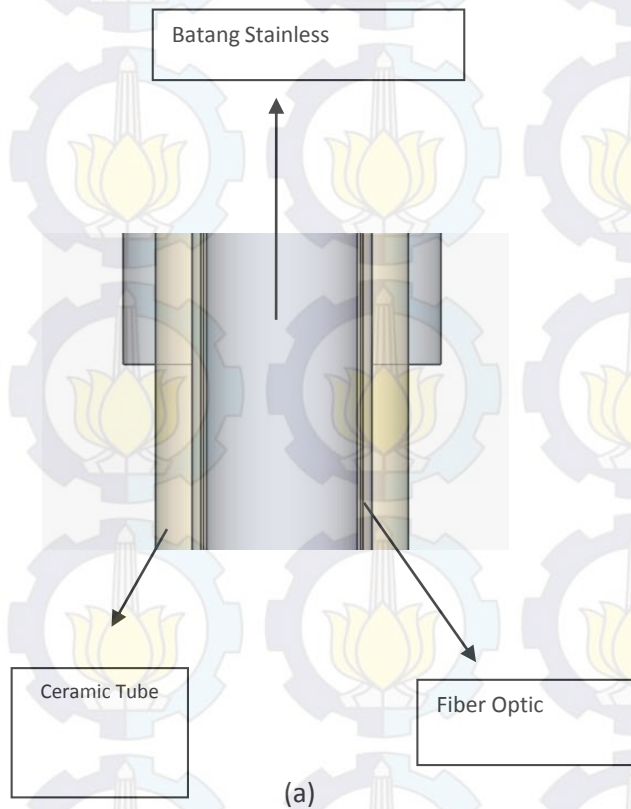
Probe Keramik *mullite*



Probe Keramik
Geopolimer



Hasil Perancangan Sistem Sensor



letak FBG dalam probe



penampang atas Probe
sensor



Pengujian Sistem Sensor

Probe
Sensor
Keramik

Plat
Keramik

Thermokopel
Type-K

Dinding Logam

Elemen

Elemen
Pemanas

Lubang Probe
Sensor

Plat Keramik

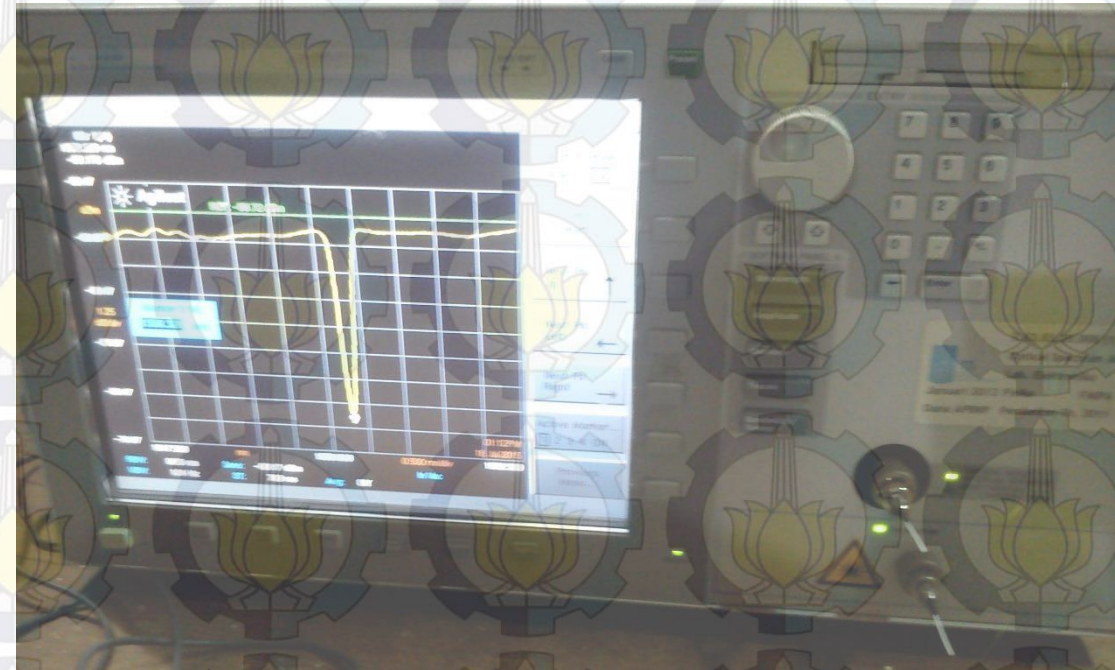
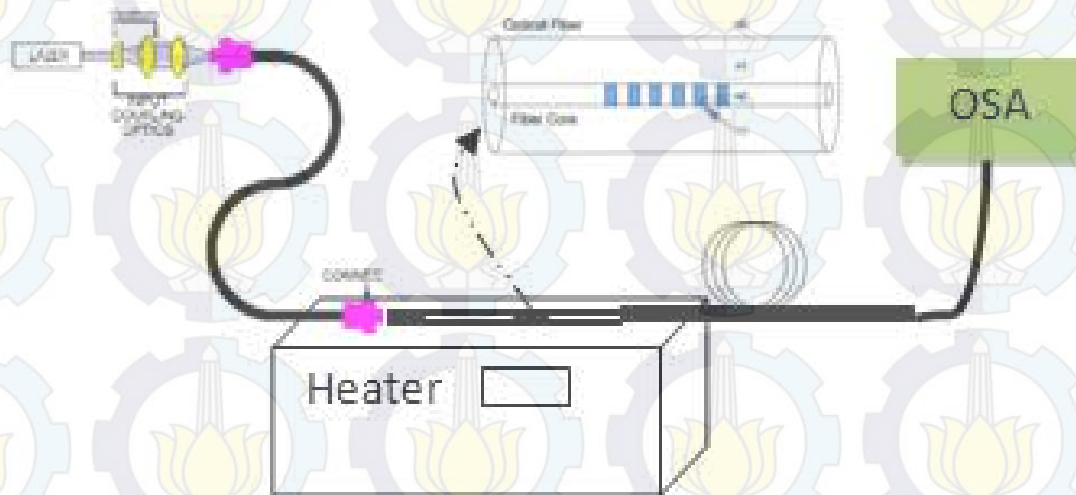
Thermokople
Type-K

Perancangan *Chamber*/Sistem Pemanas



1

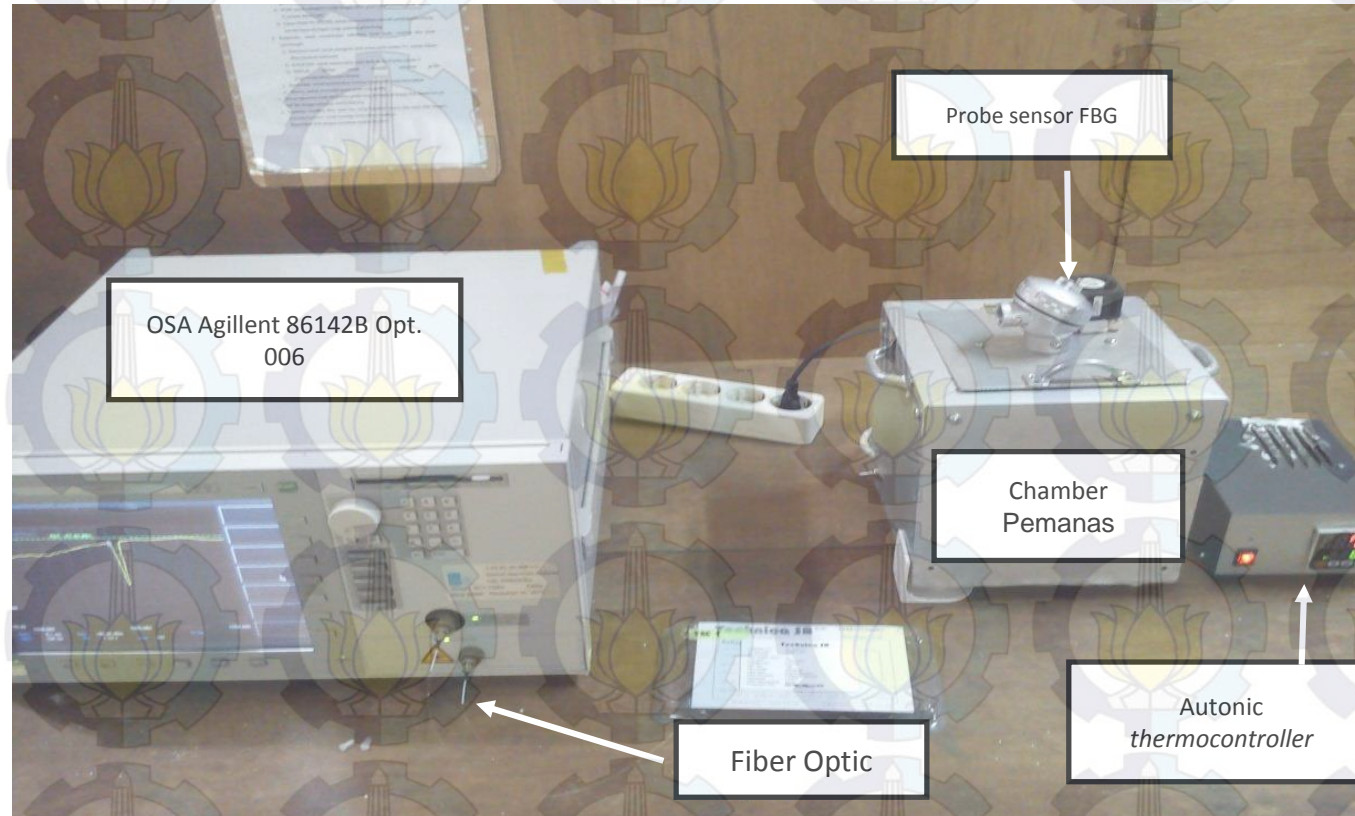
Pengujian Karakteristik *Bare* FBG terhadap Temperatur



Pengujian dilakukan untuk mengetahui respon FBG pada temperatur rendah



Pengujian Sistem Sensor



Set-up Pengukuran Sistem Sensor FBG



Proses Akuisisi Data

OSA Agilent
86142 B opt.006

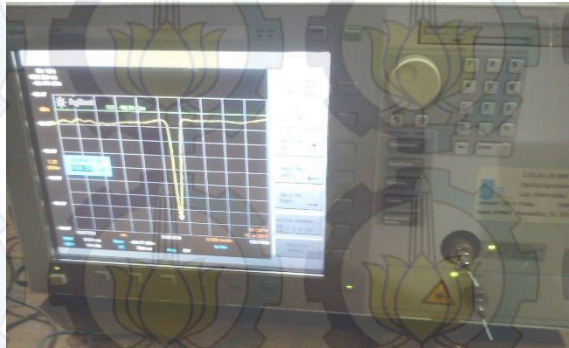


Figure 1. Wavelength calibrator block diagram

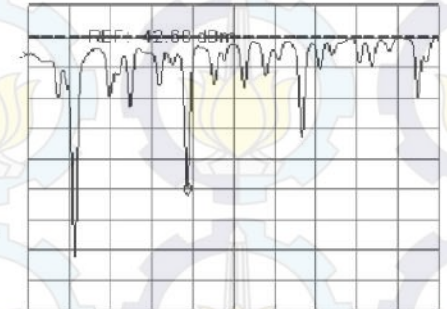
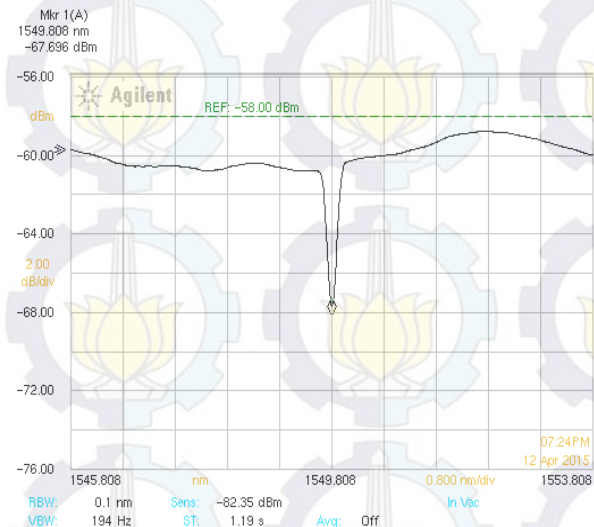


Figure 2. Wavelength calibrator absorption spectrum



Indeks	Intensitas Transmisi (dBm)	Panjang Gelombang (nm)
1	-59.72	1545.808
2	-59.716	1545.816
3	-59.721	1545.824
4	-59.73	1545.832
5	-59.727	1545.84
.	.	.
496	-66.59	1549.768
497	-66.923	1549.776
498	-67.303	1549.784
499	-67.53	1549.792
500	-67.663	1549.8
501	-67.696	1549.808
502	-67.655	1549.816
503	-67.544	1549.824
504	-67.405	1549.832
505	-67.171	1549.84
.	.	.
997	-59.963	1553.776
998	-59.974	1553.784
999	-59.979	1553.792
1000	-59.982	1553.8
1001	-59.983	1553.808



Laser type	Edge emitting LED (EELED)	
Wavelength	1310nm	1550 nm
Max. CW output power *	50 μ W	
Beam waist diameter	9 μ m	
Numerical aperture	0.1	
Laser class according to IEC 60825-1 (2001)	1	
Max. permissible CW output power **	15.6mW	10mW

* Max. CW output power means the highest possible optical CW power that the laser source can produce at its output.
 ** Max. permissible CW output power is the highest optical power that is permitted within the appropriate IEC laser class.

Internal Wavelength
Calibrator
(source)



PROSEDUR PENGAMBILAN DATA

Setting
Tempera
ture
Control

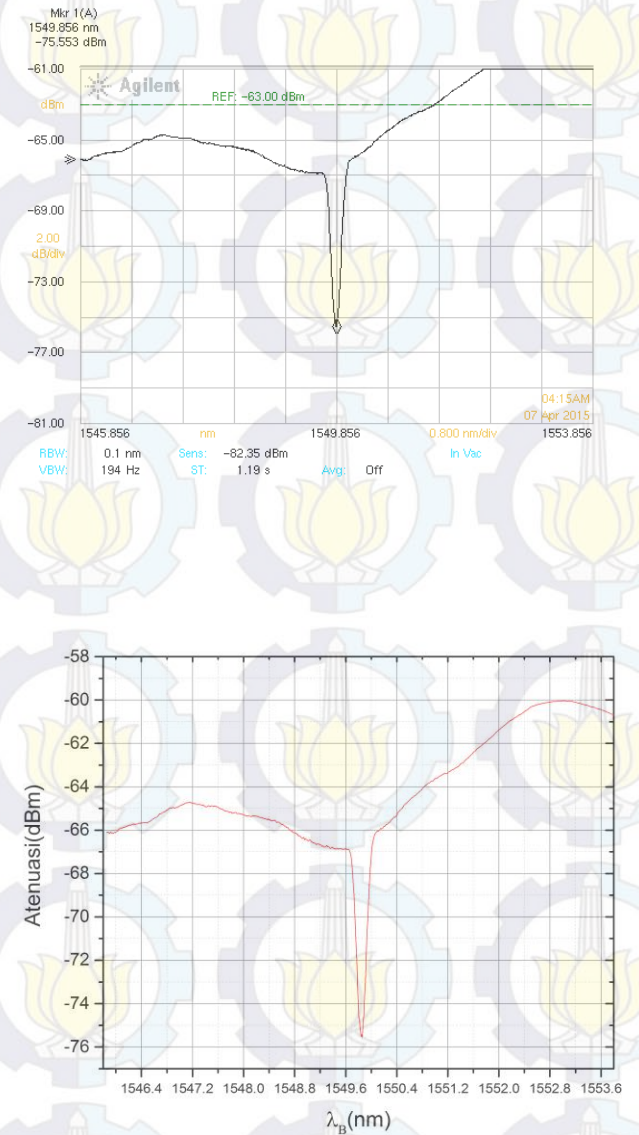
Searching
Pit pada
OSA

Marker
Pit
Grafik

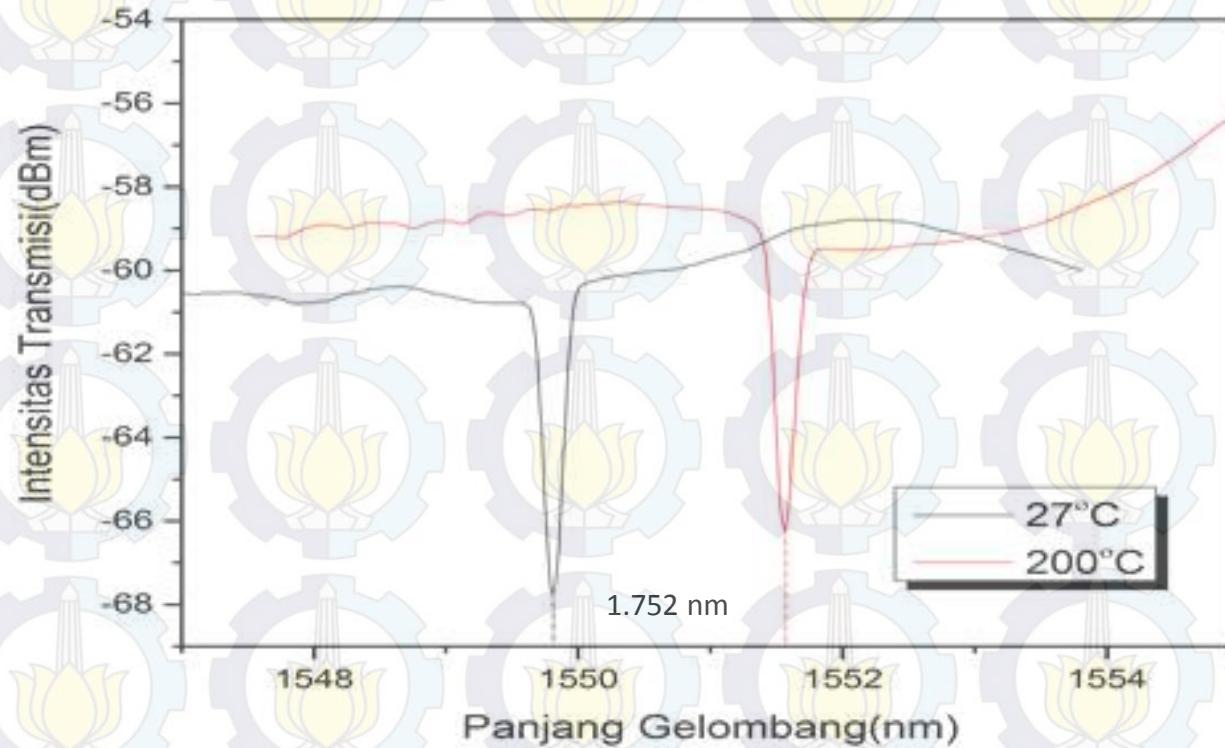
Save
hasil
Iterasi
(Floppy
Disk)

Analisis
Letak
Atenuasi
tertinggi

Plotting
Grafik
(origin
9.1)



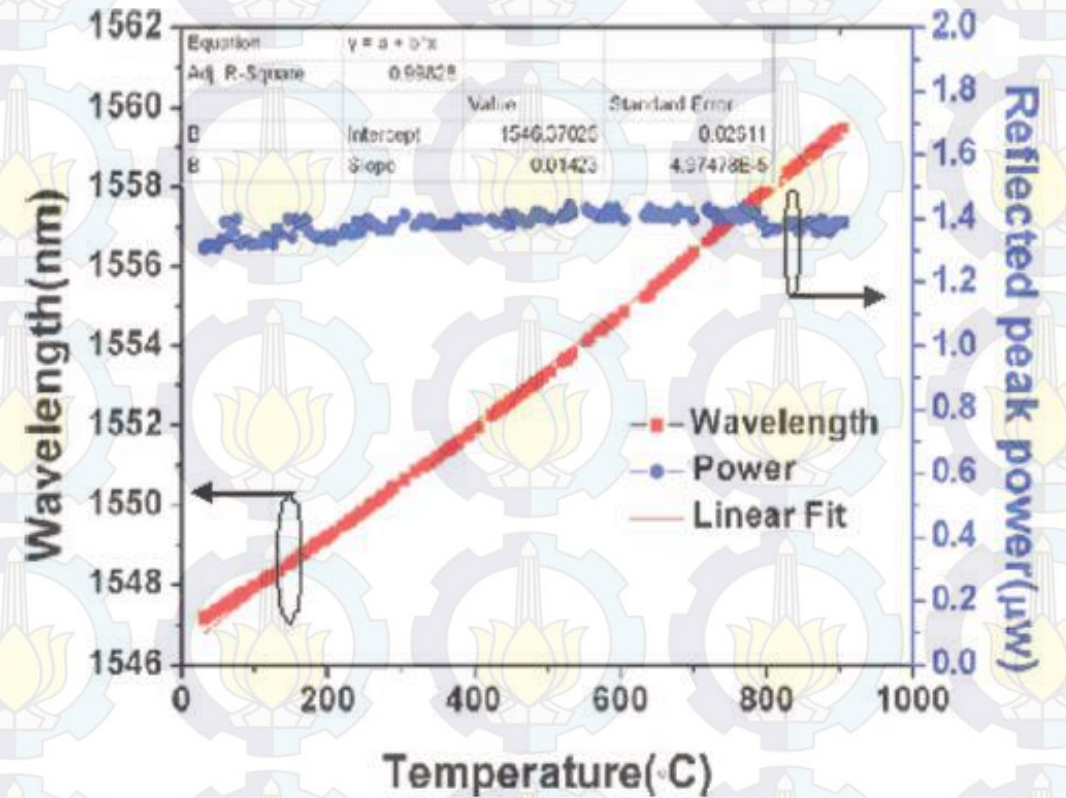
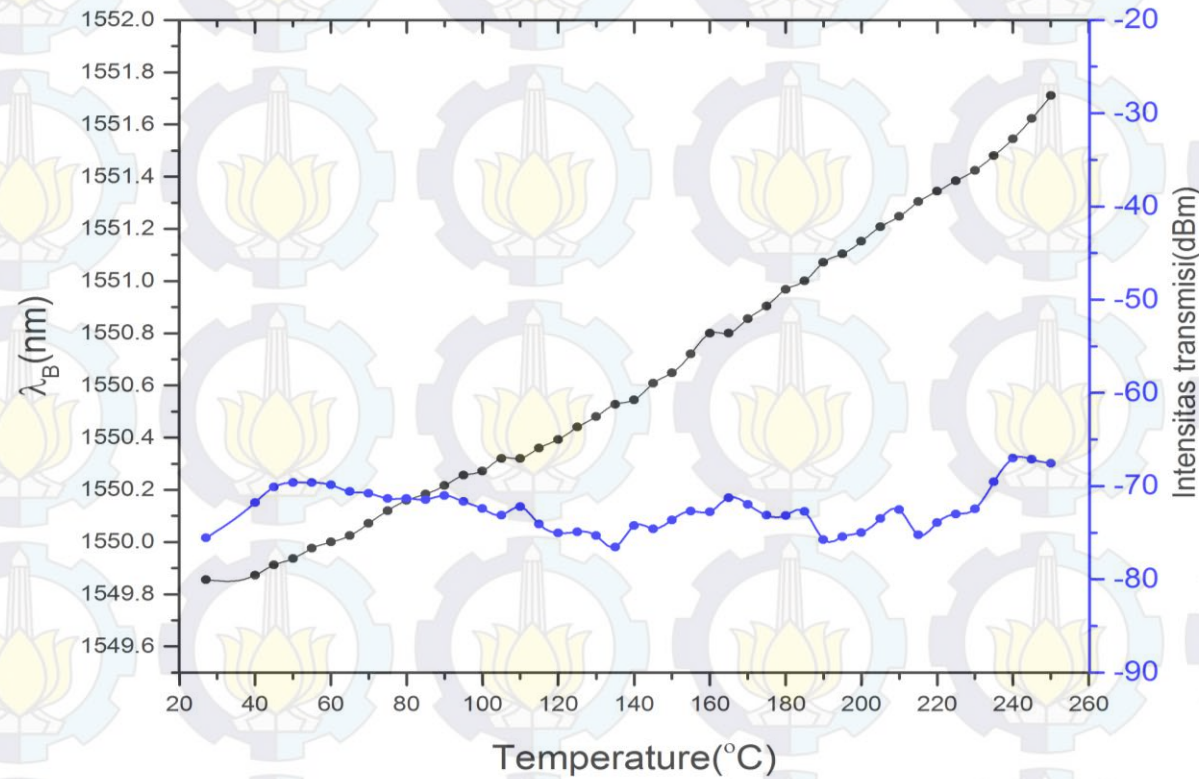
Hasil Penelitian



Pengaruh Temperatur terhadap Pergeseran Panjang Gelombang Bragg



Pengaruh Temperatur Terhadap Pergeseran Panjang Gelombang Bragg dan Intensitas Transmisi FBG



Parne Saisi Reddy, 2011



Karakteristik Sistem Sensor

Uji linearitas

$$\%FSO = \frac{\text{True}_{\text{output}} - \text{Actual}_{\text{output}}}{Y_{FSO}}$$

$$\%Hysteresis = \%FSO^{\text{T}_{\text{naik}}} - \%FSO^{\text{T}_{\text{turun}}}$$

$$\text{Standar Deviasi} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}{n - 1}}$$

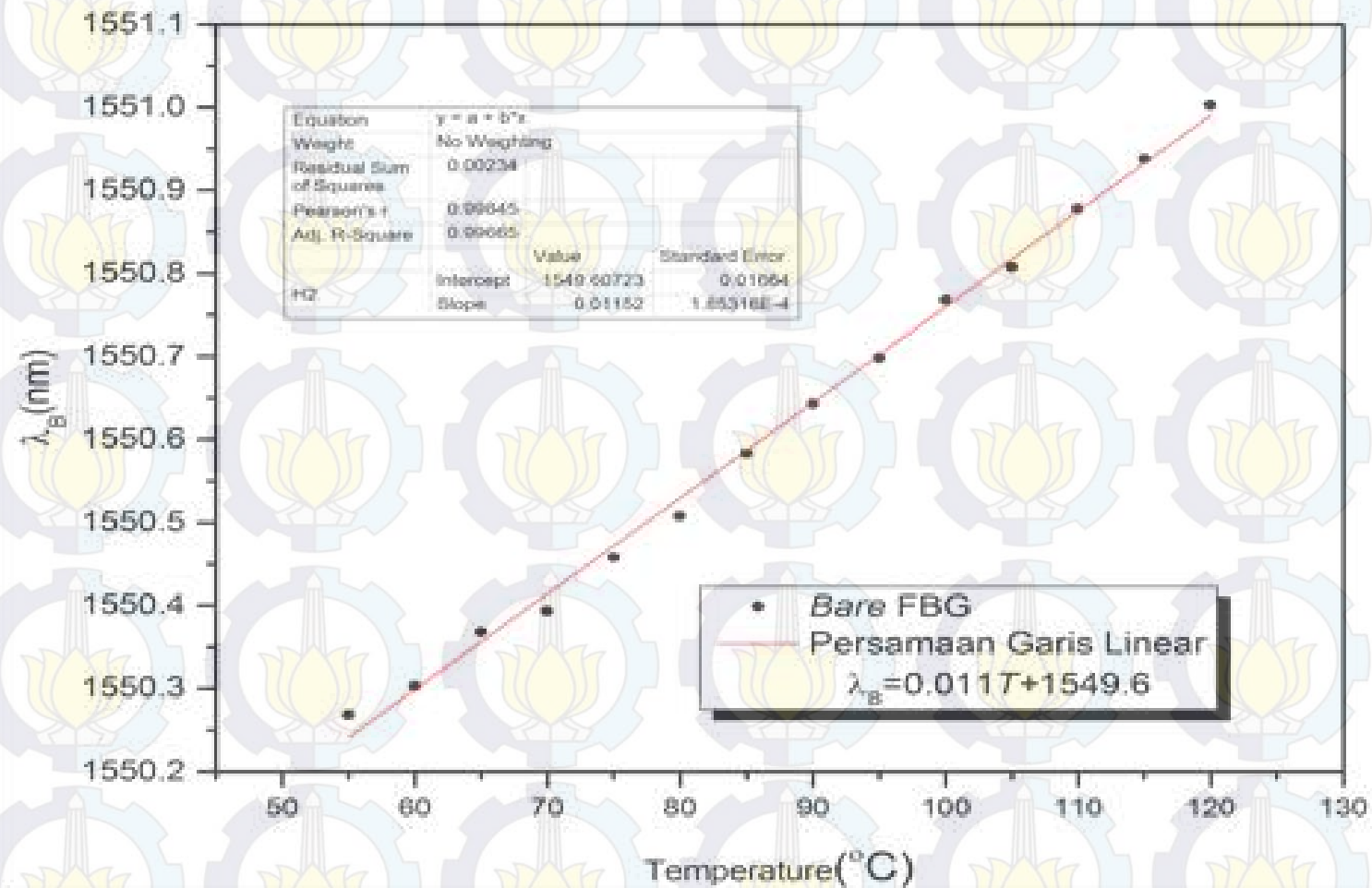
Uji Repeatability

$$\%Repeatability = \frac{\text{MaxStd.dev} - \text{Rata-rata}_{\text{std.dev}}}{\text{Full Scale}} \times 100\%$$

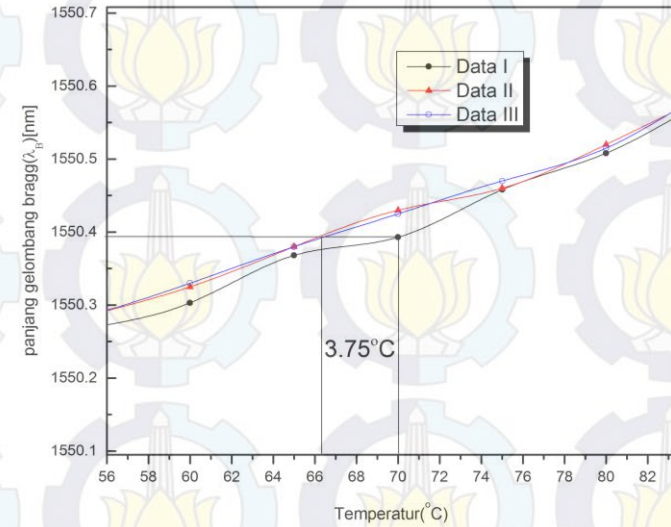
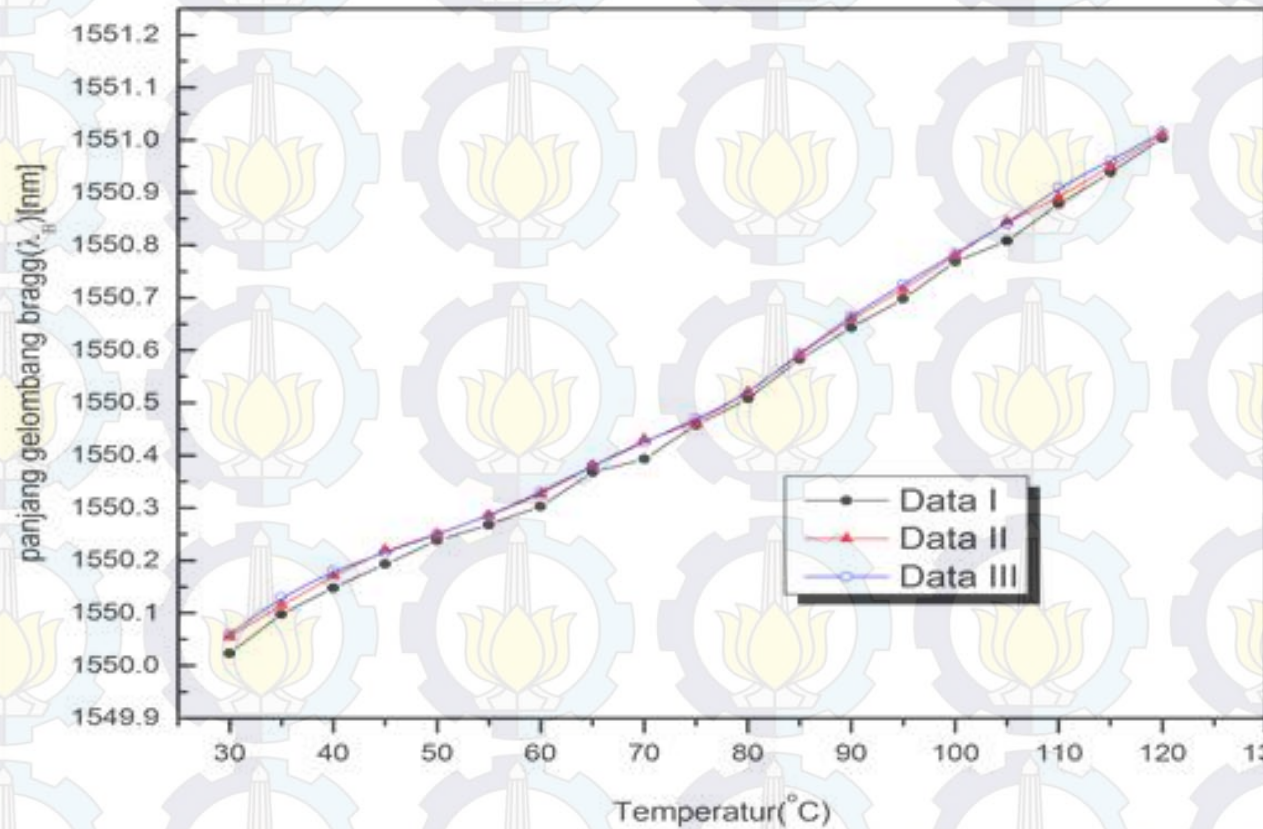
Uji Hysteresis



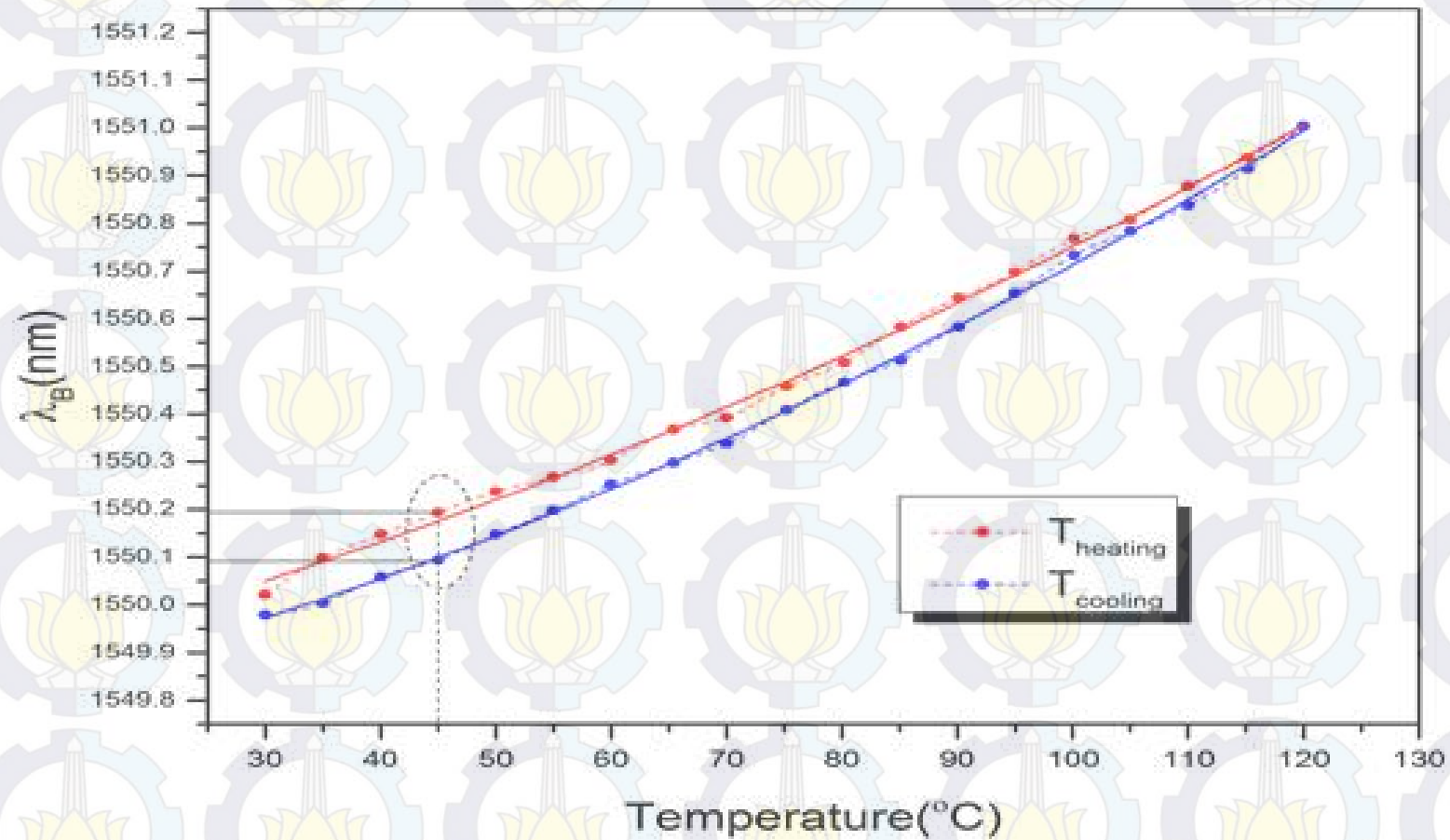
Hasil Uji Linearitas Bare FBG



Hasil Uji Repeatability *Bare* FBG



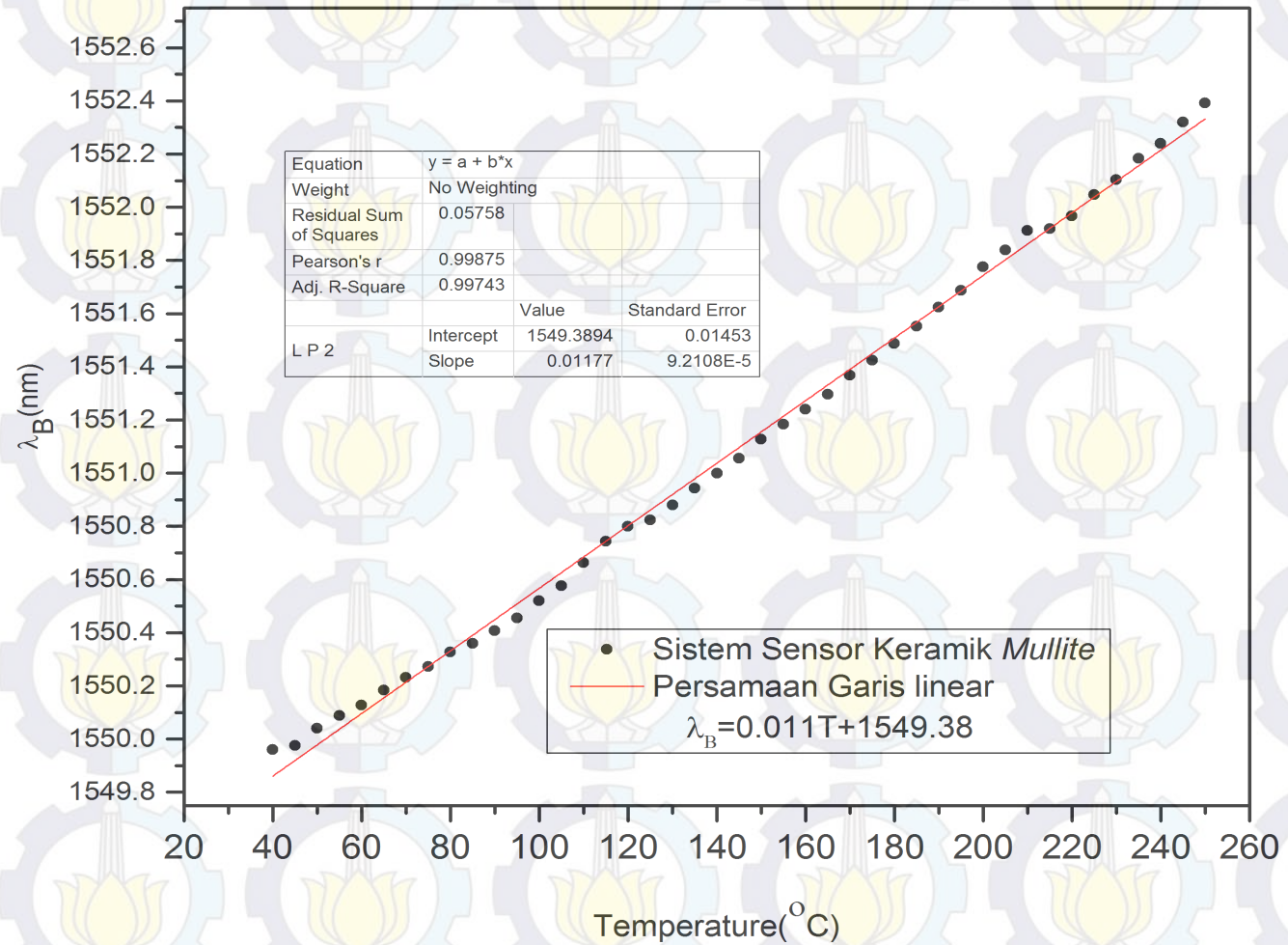
Hasil Uji Hysteresis Bare FBG



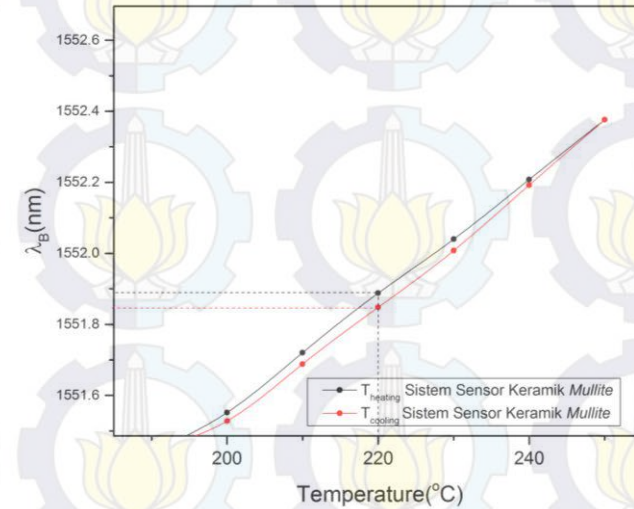
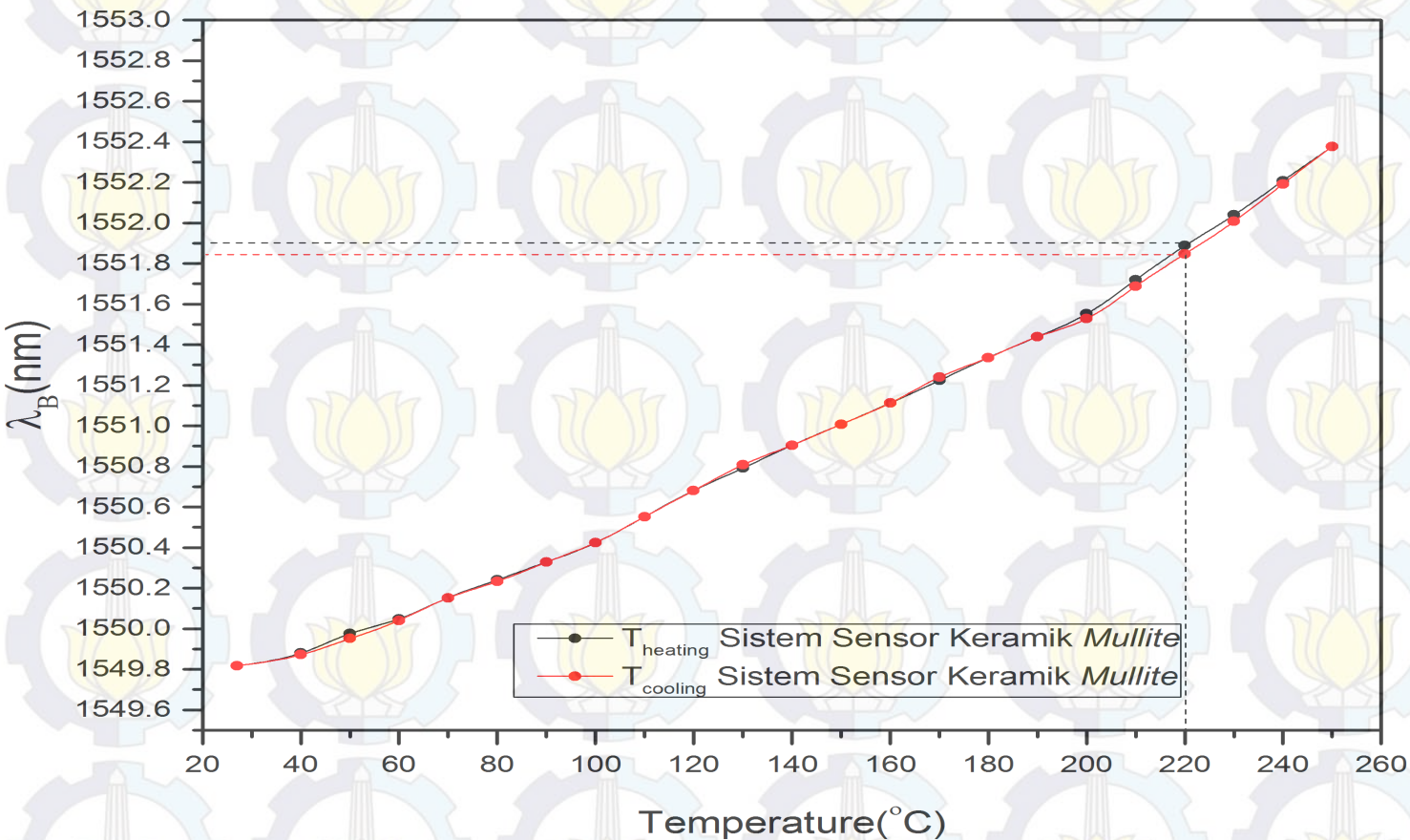
%Hysteresis= **0.0058%FSO**
pada Temperatur 45°C



Hasil Uji Linearitas Sistem Sensor *Keramik Mullite*



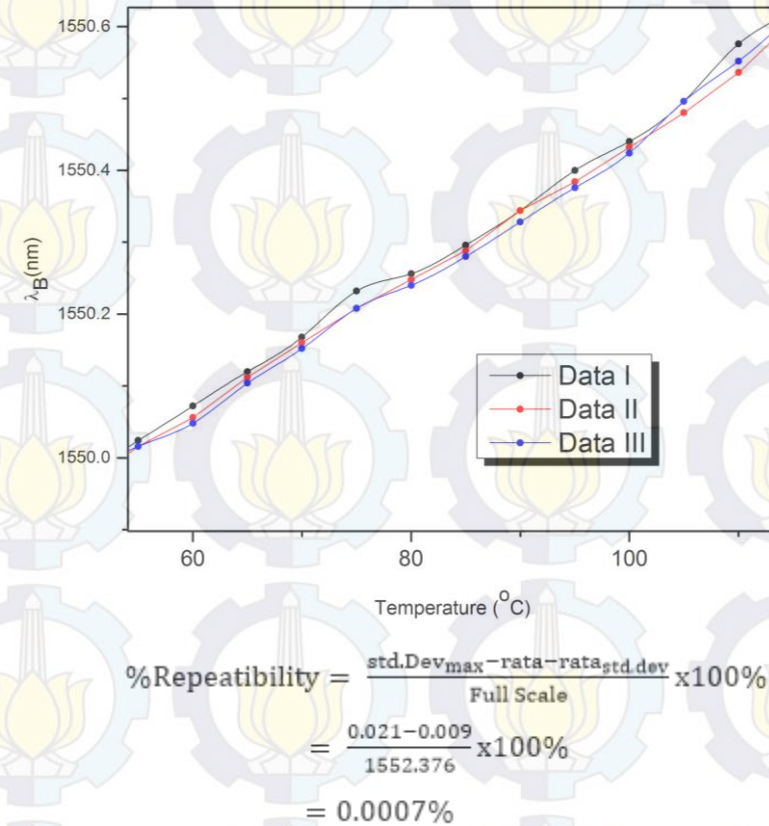
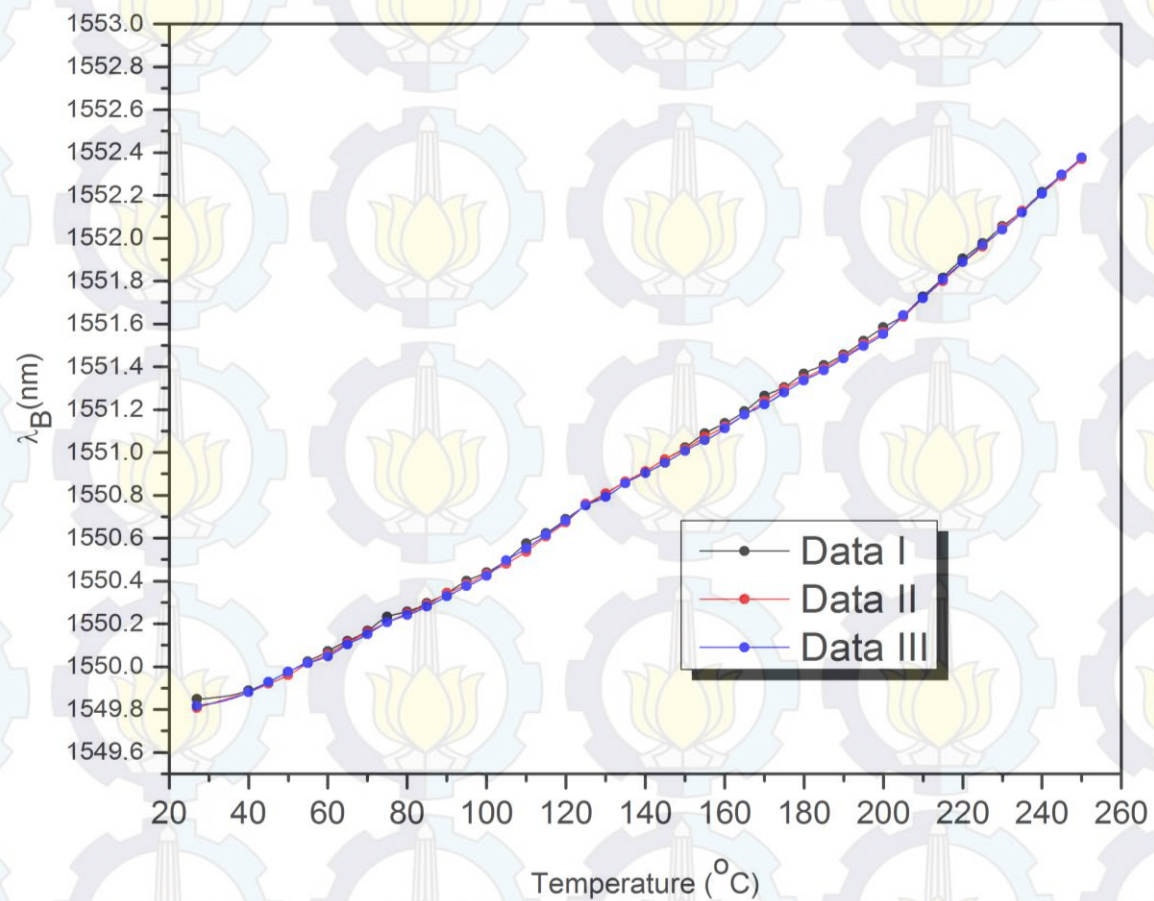
Hasil Uji Hysteresis Sistem Sensor *Keramik Mullite*



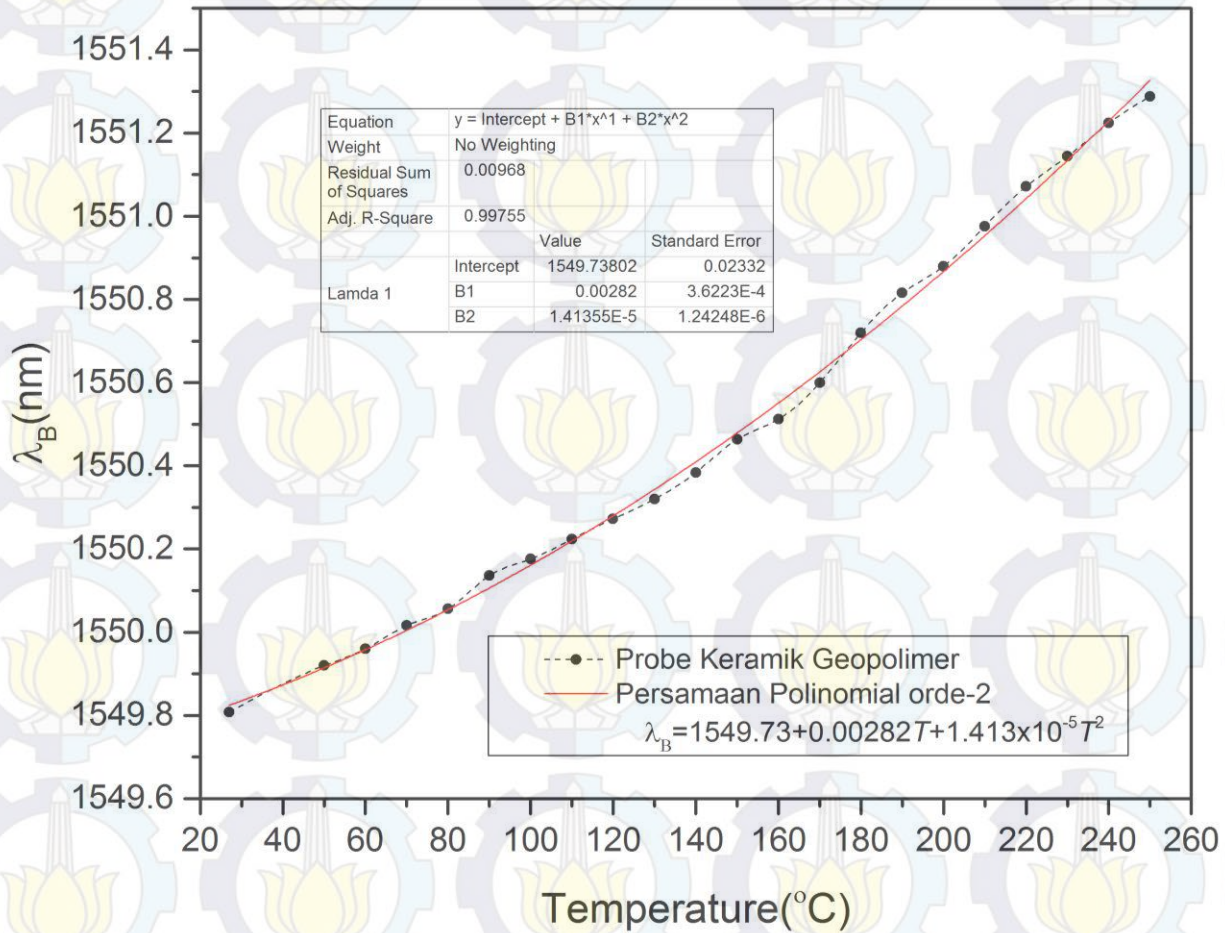
%Hysteresis= 0.00257%FSO
pada Temperatur 150°C



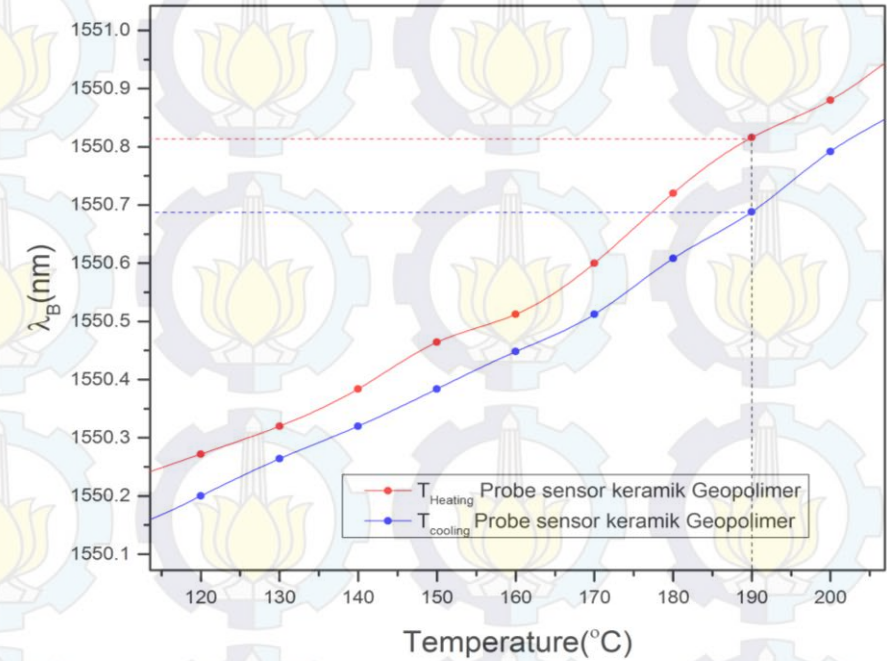
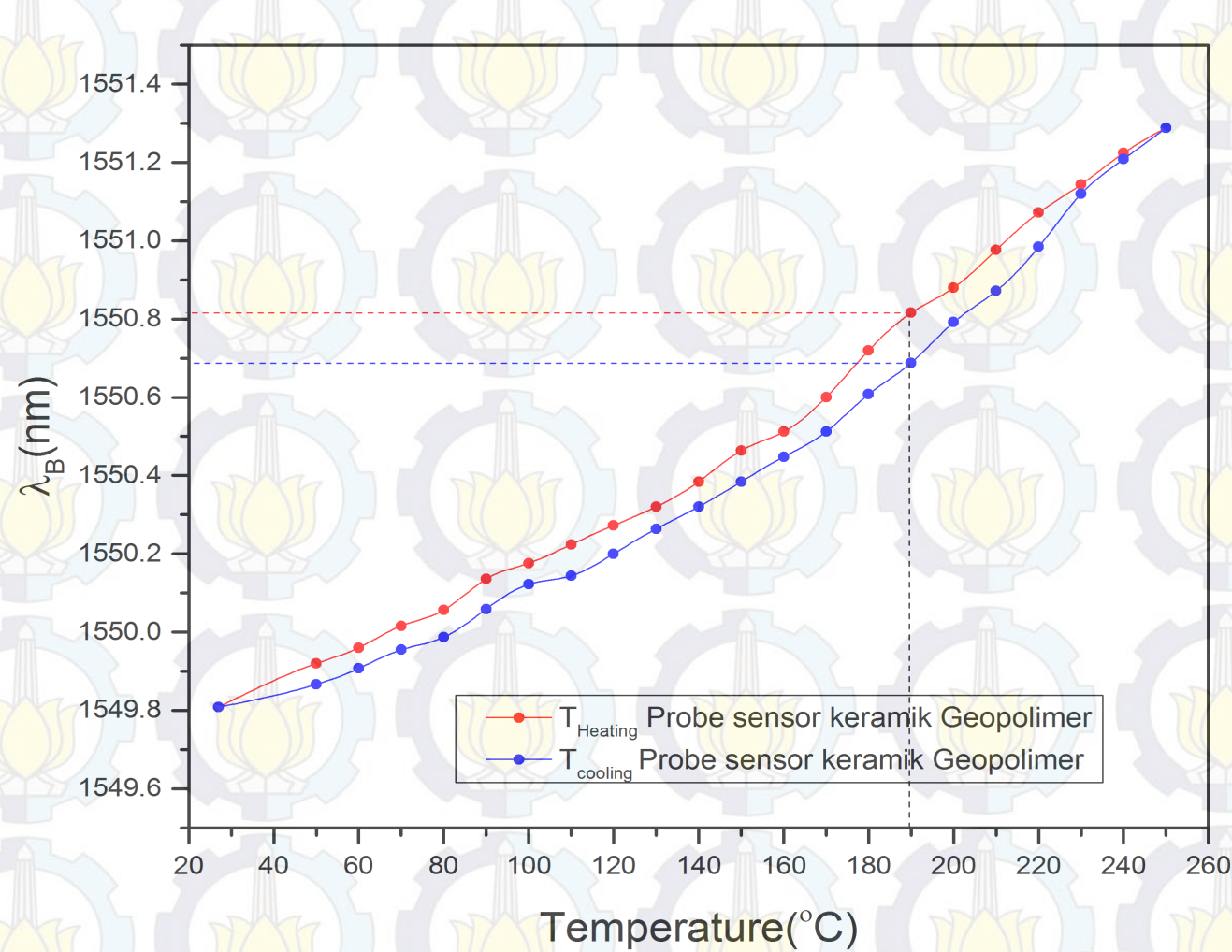
Hasil Uji Repeatability Sistem Sensor *Keramik Mullite*



Hasil Uji Linearitas Sistem Sensor Keramik Geopolimer



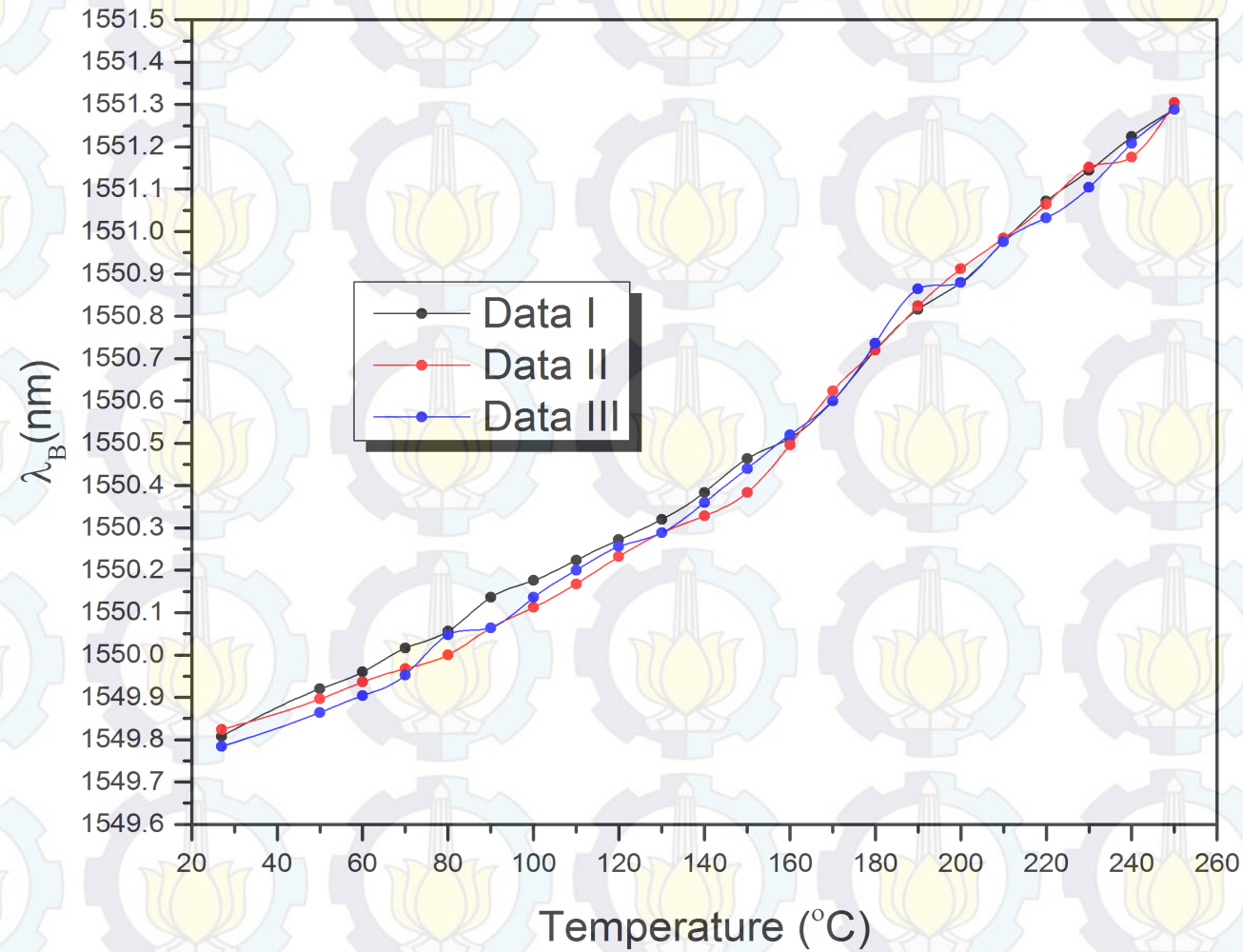
Hasil Uji Hysteresis Sistem Sensor Keramik Geopolimer



%Hysteresis= **0.00825%FSO**
pada Temperatur 190 $^{\circ}\text{C}$



Hasil Uji Repeatability Sistem Sensor Keramik Geopolimer



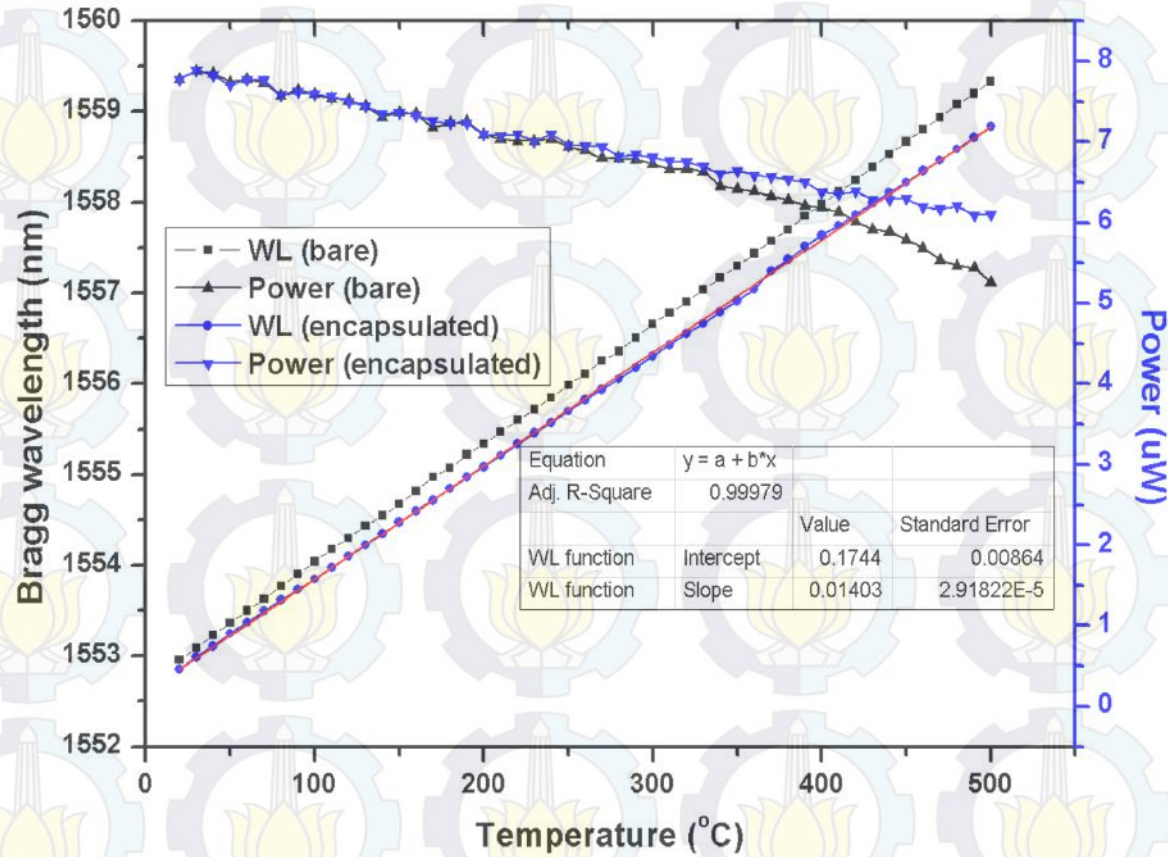
$$\begin{aligned}\% \text{repeatability} &= \frac{\text{std.Dev}_{\text{max-rata}} - \text{rata}_{\text{std.dev}}}{\text{Full Scale}} \times 100\% \\ &= \frac{0.042 - 0.023}{1551.304} \times 100\% \\ &= 0.001\%\end{aligned}$$



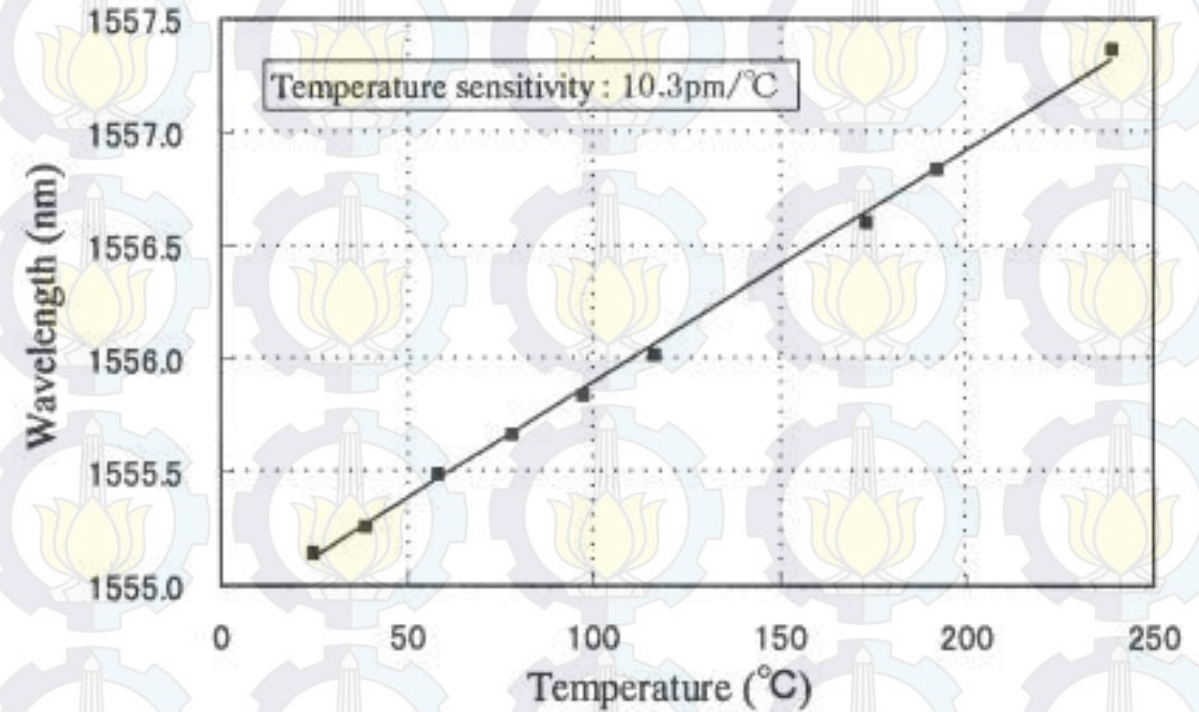
Perbandingan nilai Range, sensitivitas dan Resolusi
Sistem sensor

Variasi Model Probe	Range (nm)	Sensitivitas (nm/°C)	Resolusi (°C)
Bare FBG	0.98	0.010	0.1
Probe Sensor FBG Dari Keramik Mullite	2.528	0.011	0.08
Probe Sensor FBG Dari Keramik Geopolimer	1.48	0.006	0.15





Venkata reddy mammidi et. Al. 2014
Sensitifitas $14,03 \pm 0.02 \text{ pm}/^\circ\text{C}$



Noritomo Hirayama dan Yasukazu Sano, 2000
Sensitifitas $10.3 \text{ pm}/^\circ\text{C}$



Jangkauan Pengukuran Sistem Sensor

No	Variasi Probe Sensor	Persamaan	Jangkauan Pengukuran
1	Bare FBG	$\lambda_B = 0.011T + 1549.6$	300°C
2	Probe Keramik Mullite	$\lambda_B = 0.11T + 1549.38$	320 °C
3	Probe Keramik Geopolimer	$\lambda_B = 1549.73 + 0.00282T + 1.414 \times 10^{-5}T^2$	396°C



KESIMPULAN

1. Fiber Bragg Grating (FBG) mampu mendeteksi perubahan temperatur melalui pergeseran Panjang Gelombang Bragg(λ_B). Sistem pengukuran dengan mengamati spektrum transmisi telah mampu dikembangkan dengan melakukan prosedur enkapsulasi dengan *ceramic tube* berbahan dasar aluminasilikat.
2. *Optical Spektrum Analyzer(OSA)* Agilent 86142B mampu mendeteksi panjang gelombang dan intensitas transmisi yang melalui fiber optik. Sumber cahaya yang digunakan yaitu *Internal Wavelength Calibrator*
3. *Bare* FBG memiliki jangkauan pengukuran temperatur 27-300°C. Metode enkapsulasi dengan menggunakan keramik geopolimer telah mampu meningkatkan jangkauan pengukuran dari FBG yaitu 27-396°C. Sistem sensor yang merupakan integrasi antara probe sensor dan FBG memiliki sensitivitas dan resolusi masing-masing sebesar 0.011 nm/°C dan 0.08°C. sedangkan bare FBG dengan jangkauan pengukuran yang lebih pendek, memiliki sensitivitas dan resolusi masing-masing sebesar 0.010 nm/°C dan 0.1°C
4. Pengujian karakteristik sensor yang terdiri dari Uji Linearitas, repetibility dan hysteresis pada sistem sensor, telah menunjukkan karakteristik sistem sensor yang dirancang dengan metode enkapsulasi memiliki kestabilan, presisi dan akurasi yang tinggi.



Terimakasih!

